

УДК 669.35-19

О. И. Молчанова

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

olgamolchanova99@mail

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук В. Р. Бараз

ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ БРБНТ1,7 МЕТОДОМ ФРИКЦИОННОГО НАГРУЖЕНИЯ

Изучены особенности структуры и свойств бериллиевой бронзы БрБНТ1,7, подвергнутой дисперсионному упрочнению после закалки на пересыщенный твердый раствор с последующим старением. Результатом старения является существенное возрастание прочностных свойств (микротвердости) сплава.

Ключевые слова: бериллиевая бронза, дисперсионное упрочнение, деформационное старение

O. I. Molchanova

STRAIN HARDENING OF BERYLLIUM BRONZE BY FRICTION LOADED METHOD

The structural and properties features of BrBNT1,7 beryllium bronze subjected to dispersion hardening after quenching on a supersaturated solid solution and subsequent aging were studied. The result of aging is a significant increase in the strength properties (microhardness) of the alloy.

Key words: beryllium bronze, dispersion hardening, strain aging

Сплавы меди с бериллием отличаются уникальным благоприятным сочетанием высоких прочностных и упругих свойств, высокой электро- и теплопроводностью, повышенным сопротивлением разрушению и высокой коррозионной стойкости. Благодаря этим особенностям бериллиевые бронзы нашли применение в том числе в качестве пружинных материалов, по уровню прочностных свойств сопоставимых с среднеуглеродистыми сталями. Классическим приме-

ром таких материалов являются сплавы с 2–2,5 % бериллия — БрБ2, БрБ2,5. Последующим развитием этих сплавов стало создание бериллиевой бронзы, дополнительно легированной добавками никеля и титана (сплавы типа БрБНТ1,7 и БрБНТ1,9). Введение никеля позволило оптимизировать технологические процессы закалки (снизить скорость выделения избыточных фаз при охлаждении), а легирование титаном, благодаря подавлению эффекта перегрева, способствовало сохранению мелкозернистой структуры, а также повышению температурного порога рекристаллизации. Кроме того, такое добавочное легирование позволило понизить содержание дорогостоящего основного легирующего элемента — бериллия.

Перспективным методом упрочнения считается способ поверхностной пластической деформации с использованием технологии фрикционной обработки. Этот прием пригоден для пружинных материалов, испытывающих поверхностное нагружение в процессе эксплуатации.

Материалом исследования послужила бериллиевая бронза промышленной марки типа БрБНТ1,7, содержащая (в масс. %) 1,68Be, 0,34Ni и 0,25Ti. Использовались ленточные образцы толщиной 0,3 мм и шириной 8,0 мм.

Исследуемый сплав, относящийся к числу классических стареющих сплавов, подвергался стандартной термической обработке путем закалки (в воде) на пересыщенный твердый раствор от 780 °С (в течение 15 минут) с последующим старением при 320 °С (длительностью 3 часа). Заключительная обработка включала фрикционное деформирование путем протягивания ленты через нагруженные ножи-инденторы.

Металлографическая структура закаленной бериллиевой бронзы представлена на рис. 1, а. После закалки в данном сплаве фиксируется типичная картина закаленного состояния: равноосные зерна пересыщенного матричного твердого раствора с тонкими границами и многочисленными двойниками отжига. Наблюдаются включения избыточной фазы сферической формы, сохранившиеся после нагрева под закалку в однофазную область. Последующее старение (рис. 1, б) приводит к выделению избыточной фазы по границам зерен.

Такая обработка стареющего сплава по классической схеме приводит к эффективному термическому упрочнению: после закалки микротвердость составляет 130 HV₅₀, а после старения — 320 HV₅₀.

При этом показатели числа переменных гибов: 620 и 210 соответственно.

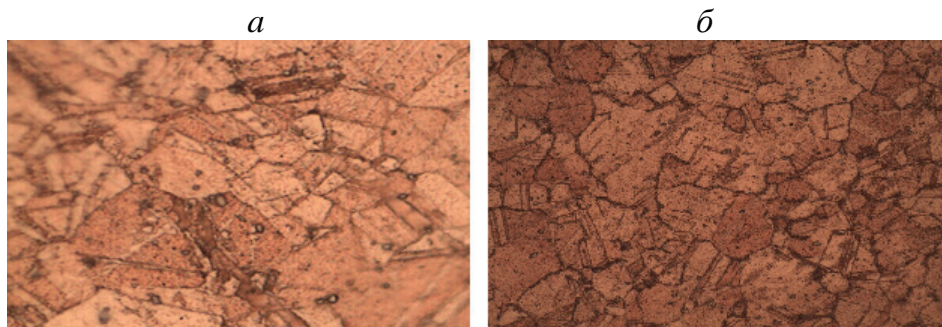


Рис. 1. Микроструктура сплава БрБНТ1,7 после закалки (а) и старения (б): $\times 400$

Само деформирование в режиме трения проводилось на экспериментальной установке, в которой деформационная обработка велась по схеме «неподвижные инденторы — скользящая заготовка», необходимая сила в зоне контакта F обеспечивалась путем подвешенного груза G , а также радиусом закругления R твердосплавных инденторов (рис. 2).

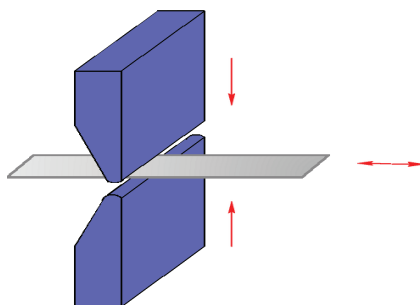


Рис. 2. Схема поверхностной фрикционной обработки

На рис. 3 приведены результаты фрикционного упрочнения в зависимости от условий нагружения в зоне контакта: радиус валков-инденторов составлял 1 мм, величина подвешенного груза варьировалась в диапазоне 380—2700 г, число протяжек через валки — 10.

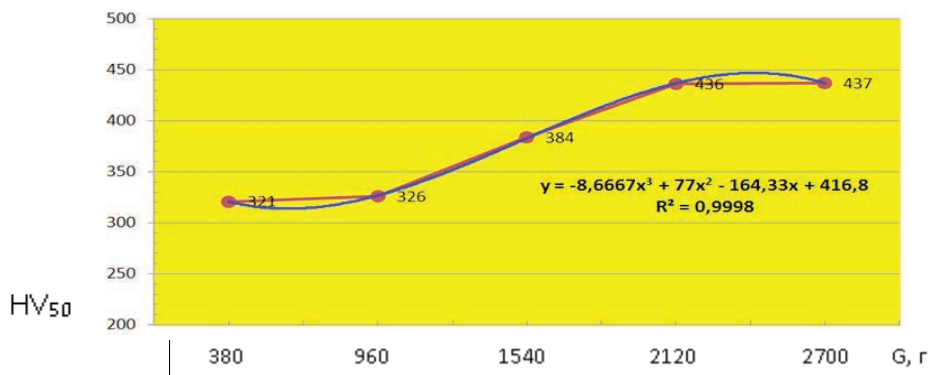


Рис. 3. Зависимость микротвердости сплава БрБНТ1,7 от величины фрикционного нагружения

Фрикционное деформирование привело к ожидаемому дополнительному наклепу (рост на 35 %), который корректно описывается эмпирическим уравнением третьей степени. При этом наиболее существенно упрочнение реализуется в условиях относительно умеренных внешних нагружений (при G , меняющихся в интервале 960–2120 г). Отметим, что и после максимального упрочнения (437 HV₅₀) сплав сохраняет повышенные значения числа переменных гибов — 310 единиц.